

«Прогнозування граничного стану елементів авіаційних конструкцій за параметрами деформаційного рельєфу поверхневого шару»

Основні наукові результати

Наукова новизна полягає в тому, що вперше запропоновано метод прогнозування граничного стану елементів авіаційних конструкцій за параметрами деформаційного рельєфу поверхневого шару. Шляхом проведення фрактографічних досліджень доведено, що втомні тріщини в плакованих алюмінієвих сплавах формуються в плакуючому шарі. Запропоновано новий параметр стану матеріалу при циклічному навантажуванні, $D_{\text{крит}}$ – критичний параметр пошкодження, який визначається по насиченості деформаційного рельєфу поверхні. Для визначення насиченості деформаційного рельєфу в процесі циклічного навантажування розроблено відповідні методики. Уперше отримано регресійні моделі, які пов'язують тривалість стадії розповсюдження втомної тріщини і характеристики насиченості деформаційного рельєфу поблизу концентратора напружень. Уперше отримано регресійні моделі, які пов'язують швидкість розповсюдження втомних тріщин з насиченістю деформаційного рельєфу поверхні. Встановлено, що новий метод прогнозування граничного стану елементів авіаційних конструкцій за параметрами деформаційного рельєфу поверхневого шару може бути застосований як при регулярному циклічному навантажуванні в широкому діапазоні максимальних напружень і асиметрій циклу навантажувань, так і при нерегулярному циклічному навантажуванні.

Наукова значимість роботи полягає у визначенні основних закономірностей еволюції поверхневих деформаційних структур при циклічному навантажуванні, які суттєво розширюють уявлення про фізику процесу втомного пошкодження і руйнування металів і створюють наукову базу для розвитку методології прогнозування граничного стану металевих конструкцій, що дозволить підвищити ефективність випробувань і безпеку експлуатації авіаційної техніки.

Практична цінність

Втома металів є однією з найбільш поширених причин катастрофічного руйнування металевих конструкцій. Найбільш актуальна проблема втоми в авіації внаслідок необхідності забезпечення високого рівня надійності і довговічності при мінімальній масі конструкцій.

Ресурс сучасних літаків цивільної авіації становить не менше 30 років експлуатації, протягом яких виконується приблизно 50000-70000 польотів.

Зазначений ресурс забезпечується шляхом проектування літака відповідно до трьох принципів: безпечного ресурсу, безпечного руйнування, допустимого пошкодження.

Принцип допустимого пошкодження передбачає можливість експлуатації повітряних суден з дефектами за умови забезпечення їх постійного моніторингу і можливості прогнозування подальшого розвитку.

Втомні тріщини є одним із найбільш поширених дефектів, розвиток яких може призвести до катастрофічних наслідків. Прогнозування процесу розвитку втомних тріщин повинно забезпечити попередження непередбачуваного руйнування конструкцій повітряних суден, оптимізувати процес технічного обслуговування шляхом обґрунтованого визначення періодичності оглядів конструкцій в експлуатації. На жаль, існуючі методи прогнозування процесу розповсюдження втомних тріщин не забезпечують достатньої точності визначення кінетичних характеристик втомних тріщин в конструкційних матеріалах.

Представлений в науково-дослідній роботі новий метод прогнозування критичного стану елементів авіаційних конструкцій за параметрами деформаційного рельєфу поверхневого шару готовий до впровадження при проведенні стендових ресурсних випробувань. Застосування нового методу при проведенні ресурсних випробувань дозволить попередити руйнування дослідних зразків авіаційної техніки і визначити живучість їх критичних елементів.

Результати дослідження живучості металевих конструкцій в умовах дії повторних навантажувань можуть бути застосовані також і при моніторингу технічного стану інших інженерних конструкцій.

Перелік основних наукових публікацій, доповідей на конференціях, семінарах

1. M. Karuskevich, O. Karuskevich, T. Maslak, S. Schepak. Extrusion/intrusion structures as quantitative indicators of accumulated fatigue damage // International Journal of Fatigue. – 2012. – №

39. – P. 116–121.

2. Bouraou N.I., Ignatovich S.R. The evaluation of the crack-like damage parameter of blades at the vibroacoustical diagnosis of the gas-turbine engines // *Vibrations in physical systems* / Eds.: C. Cempel, M.W. Dobry. – 2012. – V. XXV. – P. 83-88.

3. Maruschak P.O., Panin S.V., Ignatovich S.R., Zakiev I.M., Konovalenko I.V., Lytvynenko I.V., Sergeev V.P. Influence of deformation process in material at multiple cracking and fragmentation of nanocoating // *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. – 2012. – 57. – P. 43-48.

4. Застосування фрактальної геометрії в задачах прогнозування залишкового ресурсу авіаційних конструкцій / М.В. Карускевич, І.М. Журавель, Т.П. Маслак // *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. – 2011. – Т. 47. – № 5. – С. 48–52.

5. Ignatovich S.R., Yutskevich S.S. Monitoring of the d16at alloy according to the characteristics of deformation surface pattern // *Materials Science*. – 2011. – Vol. 47, N 5. – P. 636 - 643.

6. Игнатович С.Р., Юцкевич С.С. Контроль усталости сплава Д16АТ по характеристикам деформационного рельефа поверхности // *Физико-химическая механика материалов*. – 2011. – Т. 47, № 5. – С. 60-65.

7. Марущак О.П., Игнатович С.Р., Пилипенко А.П., Бищак Р.Т. Влияние термоциклической наработки на разрушение стали 25Х1М1Ф при статическом нагружении // *Заводская лаборатория*. – 2011. – Т. 77, № 4. – С. 57-60.

8. Игнатович С.Р., Закиев И.М. Универсальный микро/нано- индентометр «Микронгамма» // *Заводская лаборатория*. – 2011. – Т. 77, № 1. – С. 61-67.

Матеріали конференцій, що входять до науково-метричних баз даних:

1. Ignatovich S.R., Yutskevych S.S. The fatigue damage control of Al-clad alloy D16AT by characteristics of deformation relief on surface / *Abstracts of XV International Colloquium “Mechanical Fatigue of Metals” (XV-ICMFM)* // Ed. by D. Rozumek & E. Macha. – Opole: Opole University of Technology, 2010. –P. 25.

2. Karuskevich M. Extrusion/intrusion structures as quantitative indicators of accumulated fatigue damage / M. Karuskevich, O. Karuskevich, T. Maslak, S. Schepak // *Mechanical Fatigue of Metals (XV-ICMFM): XV International Colloquium, 13–15 September 2010: abstract*. – Opole: Opole University of Technology, 2010. – P. 27.

3. S. Ignatovich, M. Karuskevich, T. Maslak. Fatigue life prediction by the surface relief sensor // *ICM 2011: International Conference on the mechanical behaviour of materials, 5–9 June 2011: abstract*. – Cernobbio, Lake Como, Italy, Politecnico Di Milano, 2011. – P. 4084.

4. Karuskevich M.V. Fatigue sensor for structural health monitoring / M.V. Karuskevich, T.P. Maslak, G.S Siedametova // *5th International conference on structural health monitoring of intelligent infrastructure (SHMII-5): materials of intern. conf., 11-15 December 2011*. – Cancún, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.

Інші публікації:

1. Karuskevich M.V., Gorbunov I. S., Maslak T.P., Schepak S.V. Non destructive optical method under full-scale aircraft testing as a method of fatigue life prediction: materials of the 4 world congress “Aviation in the XXI-st Century” [“Safety in Aviation and Space Technologies”], (Kyiv, 21–23 September 2010 p.) / *National aviation university*. – Kyiv: NAU, 2010. – P. 13.21–13.24.

2. Розвиток деформаційного рельєфу при програмному циклічному навантажуванні / М.В. Карускевич, Т.П. Маслак, Г.С. Сейдаметова, А.А. Капустинский // *Наукоємні технології*. – 2010. – № 2. – С. 18–21.

3. Шатихин В.Е., Семенов Л.П., Макаров А.Л., Хорошилов В.С., Попель В.М., Игнатович С.Р. Анализ надежности привода солнечной батареи космического аппарата с длительным сроком жизни // *Космічна наука і технологія*. – 2010. – 16. № 5. – С. 54-58.

4. Игнатович С.Р., Карускевич М.В., Бурау Н.И., Краснопольский В.С. Перспективы использования бортовых автоматизированных систем контроля выработки усталостного ресурса авиационных конструкций // *Вісник Тернопільського Національного технічного університету: спеціальний випуск*. Ч. 2, 2011 – С. 136-143.

5. Игнатович С.Р., Юцкевич С.С., Дорошенко Є.Ю. Деформаційний рельєф на поверхні

сплаву Д16АТ як показник історії експлуатаційного навантажування авіаційних конструкцій // Вісник Тернопільського Національного технічного університету. – 2011. – Т.16, № 3 – С. 57-62.

6. Структурно-чувствительный сенсор усталости и его диагностические параметры / С.Р. Игнатович, М.В. Карускевич, Т.П. Маслак // Деформация и разрушение материалов и наноматериалов: междунар. конф., 25–28 окт. 2011 г.: тезисы докл. – Москва, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, 2011. – Том 1. – С. 766–767.

7. Ігнатович С.Р., Карускевич М.В. Оцінка вичерпання ресурсу повітряних суден за параметрами деформаційного рельєфу поверхні елементів конструкцій і сенсорів втомних матеріалів Х міжнар. наук.-техн. конф. [«ABIA-2011»], (Київ, 19–21 вересня 2011 р.) / МОНУ, НАУ. – К.: НАУ, 2011. – С. 14.12–14.15.

8. Карускевич М.В., Щепак С.В., Бердникова Е.Н., Кушнарєва О.С. Особенности формирования и развития усталостных трещин в плакированных алюминиевых сплавах: матеріали Х міжнар. наук.-техн. конф. [«ABIA-2011»], (Київ, 19–21 вересня 2011 р.) / МОНУ, НАУ. – К.: НАУ, 2011. – С. 14.52–14.55.

9. Карускевич М.В. Сенсор усталости авиационных конструкций / М.В. Карускевич // Вестник НТУУ «КПИ» Машиностроение. – К.: НТУУ «КПИ». – 2011. – № 63. – С. 196–198.

10. Карускевич М.В. Вплив режимів навантажування на еволюцію параметрів деформаційного рельєфу при циклічному навантажуванні / М.В. Карускевич // Вісник інженерної академії України. – 2011. – № 2. – С.163–168.

11. Карускевич М.В. Фольговый структурно-чувствительный сенсор усталости / М.В. Карускевич // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2011. – Спец випуск. Частина 2. – С. 131 – 136.

12. Вимоги до діагностичних параметрів при неруйнівному контролі втомних елементів авіаційних конструкцій / М. В. Карускевич, О. Ю. Корчук, Т. П. Маслак, С.В. Щепак, А.А. Капустинський // Вісник НАУ. – 2011. – №2. – С. 110–114.

13. Структурно-чувствительный сенсор усталости авиационных конструкций / С.Р. Игнатович, М.В. Карускевич, Т.П. Маслак, Д.Н. Костенюк // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2011. – Спец випуск. Ч. 1. – С. 178–182.

14. Игнатович С.Р. Математическая модель формирования кластеров деформационного рельефа на поверхности плакирующего слоя конструкционных алюминиевых сплавов / С.Р. Игнатович, М.В. Карускевич, Е.Ю. Дорошенко // Вестник двигателестроения.–2011.–№ 2.–С. 223-228.

15. Спосіб прогнозування живучості алюмінієвого сплаву Д16АТ по деформаційному рельєфу поверхні: Патент на корисну модель № 65204 Україна, G01N 3/32 (2006.01) / С.Р. Ігнатович, М.В. Карускевич, Т.П. Маслак, С.В. Щепак (Україна). – u2011 06504; Заявл. 24.05.2011; Опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22. – 2с.: 4 іл.

16. Спосіб контролю втомного пошкодження за допомогою структурно-чутливого сенсора: Патент на корисну модель № 73708 Україна, G01N 3/32 (2006.01) / С.Р. Ігнатович, М.В. Карускевич, Т.П. Маслак (Україна). – u2012 01612; Заявл. 14.02.2012; Опубл. 10.10.2012, Бюл. № 19. – 2с.: 3 іл.

17. Дорошенко Є.Ю., Ігнатович С.Р., Юцкевич С.С. Методика исследования распределения остаточных микродеформаций на поверхности плакированного слоя алюминиевых образцов / Авиационно-космическая техника и технология: Вип. 8 (95) - Харьков: ХАИ, 2012 – С. 154-159.

18. Karuskevich M.V. Fatigue life prediction by the structurally sensitive damage indicator / M.V. Karuskevich // Вісник НАУ. – 2012. – № 1. – Р. 139–143.

Патенти:

1. Спосіб прогнозування живучості алюмінієвого сплаву Д16АТ по деформаційному рельєфу поверхні: Патент на корисну модель № 65204 Україна, G01N 3/32 (2006.01) / С.Р. Ігнатович, М.В. Карускевич, Т.П. Маслак, С.В. Щепак (Україна). – u2011 06504; Заявл. 24.05.2011; Опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22. – 2с.: 4 іл.

2. Спосіб контролю втомного пошкодження за допомогою структурно-чутливого сенсора: Патент на корисну модель № 73708 Україна, G01N 3/32 (2006.01) / С.Р. Ігнатович, М.В. Карускевич, Т.П. Маслак (Україна). – u2012 01612; Заявл. 14.02.2012; Опубл. 10.10.2012, Бюл. № 19.–2с.: 3 іл.